

早稲田大学大学院 理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

中流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ
構造への適用に関する研究

Utilization Study on Semi-self Compacting Concrete for
Steel-concrete Sandwich Structures

申 請 者

末岡	英二
Eiji	Sueoka

--

2008 年 6 月

沈埋トンネル工法は、陸上で製作した沈埋函を水中で接合するトンネル工法の一つである。近年施工の沈埋函では、鋼コンクリートサンドイッチ構造が採用されており、鋼殻内へのコンクリートの打込みは、鋼殻上に設置された打設口のみから行われるため、普通コンクリートでは振動機による十分な締固めが困難であり、自己充てん可能な高流動コンクリートが用いられている。高流動コンクリートは沈埋函への十分な実績があるが、材料選定、製造および品質管理の過程での種々の制約によるコストアップや煩雑さの問題点がある。本研究では、これらの問題点を解決するために、スランプフローが 450～500mm で、普通コンクリートと高流動コンクリートの中間的な性状を示し、内部振動機による軽度な加振を併用する中流動コンクリートに着目して、鋼コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函への実用化を目指し、実施した。

本論文は、9つの章で構成されている。

第1章「序論」では、沈埋工法の現状や、高流動コンクリートおよび中流動コンクリートの特徴から、鋼コンクリートサンドイッチ構造への中流動コンクリートの実用化に関する研究に至った背景について述べ、本論文の構成、各章の概要と繋がり、および本研究で用いられている特殊な用語について示した。

第2章「既往の研究」では、鋼コンクリートサンドイッチ構造へ適用する高流動コンクリートに関する研究として、沈埋函の鋼殻を模擬した実物大モデルを用いた充てん方法や充てん性評価に関する研究、および大量製造や大量打込みにおいて最も重要となる、フレッシュ性状の安定性に関する研究について取りまとめた。また、中流動コンクリートを鋼コンクリートサンドイッチ構造への適用する場合、内部振動機による軽度な加振を前提としており、比較的高いスランプのコンクリートへの加振による流動性や充てん性向上効果を目的とした研究について述べ、高いスランプのコンクリートへの加振効果を明らかにした。中流動コンクリートにおける既往の研究では、中流動コンクリートの定義や、配合、基礎性状、および加振による効果に関する成果について示し、各種構造物への適用検討に関する研究成果についても述べた。

第3章「中流動コンクリートの基本特性と配合検討」では、中流動コンクリートを鋼コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函に適用する上で必要な性能として、高い充てん性、鋼板およびシアコネクタとの一体性、所要の単位容積質量や圧縮強度の確保、長時間におけるフレッシュコンクリートの性状の維持、良好なポンプ圧送性を示し、その性能を満足する基本配合を設定した。まず、加振による中流動コンクリートの流動性、空気量、レオロジー特性、ブリーディング、および圧縮強度における影響を明確にし、その結果をもとに、中流動コンクリートの基本配合を詳細検討した。その結果、充てん性の面から水セメント比を 38～40%、粗骨材容積を 330ℓ /m³ 以下、ブリーディング防止の面から水セメント比を 35% 以下、抑制の面から 45% 以下が必要であることを明らかにした。なお、中流動コ

ンクリートの充てん性は、高流動コンクリートの充てん性試験として用いられているU形容器を用いた間隙通過性試験（U形充てん試験と称す）方法に準じて評価した。

第4章「各種変動要因による中流動コンクリートの安定性」では、中流動コンクリートの性能に影響を及ぼす変動要因として、細骨材の表面水率における設定時の誤差、細骨材における微粒分の変動、高性能 AE 減水剤の添加量、および環境（コンクリート）温度を抽出して、それらの変動が、流動性、充てん性、ブリーディング、コンクリートの沈下量、ポンプ圧送性、空気量、単位容積質量、および圧縮強度に及ぼす影響を調べるとともに、それらの結果をもとに中流動コンクリートの品質基準を検討した。その結果、品質基準としてスランプフローは 400～600mm、U形充てん試験における自己充てん高さが 250mm 以上、ブリーディング率が 2.5% 以下を設定した。

第5章「中流動コンクリートの充てん性に及ぼす加振効果」では、振動機による軽度な加振が、中流動コンクリートの充てん性に及ぼす効果を検討した。加振の程度をコンクリートに作用する加速度で表し、その効果を加振作用下での U形充てん試験における加振による充てん高さの変化から評価した。その評価は、U形充てん試験における自己充てん高さやスランプフローの違いにより、加振充てん高さが 300mm に達するために必要な加速度や加振時間の目安を設定することで行った。その結果、自己充てん高さが 280mm 以上であれば、ごく軽度（加速度が 0.5G 以下）な加振を 5 秒程度、自己充てん高さが 250mm 以上であれば、軽度（加速度 0.5G 程度）な加振を 5 秒程度作用させることで、所要の充てん性を得ることが可能であることを明らかにした。

第6章「中型モデル充てん実験による充てん性の検討」では、沈埋函の上床版標準部における一次元の中型モデル型枠（0.25×0.3×2.15m）を用いて、施工で想定される施工方法での、中流動コンクリートの流動状況や振動機の加振による充てん状況を調べた。また、加振位置からの距離とコンクリートに作用する加速度の関係、および第5章の結果から、振動機の加振による有効な加速度の伝播範囲を推定し、鋼殻内での充てん状況を想定することによって、実施工での加振方法を示した。すなわち、スランプフローが 400～450mm で、自己充てん高さが 200～250mm の中流動コンクリートへの加振は、打込み初期から 5 秒程度の間欠的な加振が必要であり、スランプフローが 450～500mm で自己充てん高さが 280mm 程度の中流動コンクリートへの加振は、最終的な充てん完了時に数秒の加振で良いことを示した。

第7章「大型モデル充てん実験による施工方法の検討」では、沈埋函における鋼殻の 1/4（1.5×1.5×1m）の大型モデルを用いた充てん実験により、施工方法の検討や中流動コンクリートの適用性の評価を、コンクリートの配合や加振方法の異なる 5 ケースの実験により行った。打込み時の流動勾配、加振による流動勾配の

変化、および最終的なコンクリートの出来形などから加振の効果や施工方法などを検討し、コンクリートの硬化後にモデル体の品質を確認することにより、中流動コンクリートの適用性を評価した。その結果、中流動コンクリートに軽度な加振を作用させた場合、その充てん性は高流動コンクリートと同等であり、加振は5秒程度、加振位置はコンクリートの流動範囲の中央付近に設けることが良いことを明らかにした。

第8章「実施工への適用」では、実構造物への適用事例を示した。施工前に行った実機試験や端部鋼殻モデルへの充てん実験、施工での製造、運搬、品質管理、および施工性について記述した。中流動コンクリートの施工性は、施工中に測定したコンクリートに作用する加速度や、CCDカメラ撮影による中流動コンクリートの流動、充てん状況、および振動機による加振効果などから確認した。これらのことから、中流動コンクリートは鋼コンクリートサンドイッチ構造に適用可能であることを示した。

第9章「結論」では、本研究で得られた鋼コンクリートサンドイッチ構造に用いる中流動コンクリートの配合、品質基準を示し、数箇所での内部振動機による加振を行う場合の時間間隔、加振時間などの設定を行った。

「あとがき」では、今後の課題として、製造、運搬、品質管理の更なる合理化、振動機による加振方法の合理化、用途の拡大を挙げるとともに、本研究成果の一部をもとにして作成された施工マニュアルの概要を紹介した。

以上、本研究では中流動コンクリートを鋼コンクリートサンドイッチ構造に適用する場合の、配合、品質基準、および内部振動機による加振を含めた施工方法を明らかにし、実構造物への実用化も実施した。

研究業績書

氏名 末岡 英二 印

(2008年 5月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
①論文	
○1)	中流動コンクリートの鋼コンクリートサンドイッチ構造部材への適用検討 土木学会論文集,部門 E,Vol.64,No.1,pp.247-262,2008.3 <u>末岡英二</u> 、佐野清史、清宮 理
○2)	沈埋函製作工事における加振併用型充てんコンクリートの配合および施工性の検討 コンクリート工学年次論文集 Vol.29,No.2,pp.451-456,2007.6 高橋宏治、松崎忠彦、水口直仁、 <u>末岡英二</u>
○3)	鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函への中流動コンクリートの適用検討 土木学会第 6 回複合構造の活用に関するシンポジウム pp.49-1~8,2005.11 <u>末岡英二</u> 、北澤壮介、山路徹、清宮 理
○4)	合成構造沈埋函に用いる加振併用型充てんコンクリートの性能に関する検討 コンクリート工学年次論文集 Vol.26,No.1,pp.1611-1616,2004.6 <u>末岡英二</u> 、清宮 理、羽渕貴士、壹岐直之
○5)	合成構造用充填コンクリートの適用性に関するモデル実験 コンクリート工学年次論文集,Vol.23,No.2,pp.1033-1038, 2001.6 <u>末岡英二</u> 、佐野清史、勝海務、清宮 理
○6)	振動を受けた中流動コンクリートの基礎性状について コンクリート工学年次論文報告集,Vol.21,No.2,pp.427-432, 1999.6 <u>末岡英二</u> 、松本典人、佐野清史、清宮 理
②講演	
1)	沈埋函製作工事における加振併用型充てんコンクリートの施工性について 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集,5-205,pp.409-410, 2007.9 <u>末岡英二</u> 、竹中寛、水谷征治、高橋宏治、清宮 理
2)	加振併用型充てんコンクリートによる鋼コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の施工について、土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集,6-40,pp.79-80,2007.9 水谷征治、松崎忠彦、水口直仁、登米一雄、 <u>末岡英二</u>
3)	加振併用型充てんコンクリートの沈埋函端部鋼殻モデル充てん実験 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集,5-189,pp.375-376,2006.9 高橋宏治、登米一雄、宮竹秀典、宮川 卓、 <u>末岡英二</u>
4)	各種細骨材を用いた加振併用型充てんコンクリートのフレッシュ性状に関する検討 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集,5-165,pp.327-328,2004.9 <u>末岡英二</u> 、羽渕貴士、安田直弘、濱田秀則、清宮 理

研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
③その他	5) 合成構造用充填コンクリートの適用性に関するモデル実験 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, V-234, 2000.9 佐野清史、北澤壮介、 <u>末岡英二</u> 、鈴木亘、清宮理
	6) 充填コンクリートのブリーディングと沈下に関する一考察 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, V-235, 2000.9 <u>末岡英二</u> 、松本典人、田中英紀、坂井直人、濱田秀則
	1) 閉鎖空間へのコンクリート充填工法 特許番号 3157813（特許） 清宮理、 <u>末岡英二</u> 、田中英紀、守分敦郎、藤村貢、村上敏幸、北澤壮介
	2) 特殊増粘剤を用いた高性能水中不分離性コンクリートに関する基礎研究 コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.457-462, 2007.6（論文） 竹中寛、 <u>末岡英二</u> 、上村恭子、網野貴彦
	3) ごみ熔融スラグを用いたコンクリートの品質改善に関する研究 コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, 2006, pp-1565-1570, 2006.6（論文） 竹中寛、 <u>末岡英二</u> 、安田正雪、笠井哲郎
	4) アセットマネジメントの考え方を取り入れた港湾施設の維持管理 材料学会コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 5, 2005.10（論文） 中川将秀、 <u>末岡英二</u> 、佐野清史、福手勤
	5) シラスとフライアッシュを用いた低強度充てんモルタルに関する配合検討 コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1885-1890, 2005.6（論文） 高橋宏治、 <u>末岡英二</u> 、安田正雪、安武篤久
	6) 栈橋 RC 上部工における劣化進行モデルを用いた LCC 算定の一例 コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.2067-2072, 2004.6（論文） 中川将秀、 <u>末岡英二</u> 、内藤英晴、濱田秀則
	7) 奥只見ダム取水口仮締切の設計と施工 コンクリート工学, Vol.40, No.4, pp.37-42, 2002.4（総説） 甚内郁郎、田路隆茂、栗原哲、 <u>末岡英二</u>
	8) A study of hardened properties of recycled concrete using crushed concrete 2001 Second International Conference on Engineering Materials, pp.135-146, 2001.8（論文） <u>E.Sueoka</u> , F.Matsumoto, R.Nakamura, K.Sano, T.Yamaji, H.Hamada, T.Fukute
	9) コンクリート塊を用いた再生コンクリートの施工実験 コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.151-156, 1999.6（論文） 山路徹、濱田秀則、 <u>末岡英二</u> 、佐野清史

研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
10)	Development of super-workable concrete with viscosity agent for Reconstruction of jetty structures destroyed by the hanshin great earthquake Third CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology SP171,pp.339 -366,1997.8 （論文） T.Fukute, H.Hamada, K.Sano, <u>E.Sueoka</u> , A.Moriwake, H.Takeuchi
11)	細骨材粒度が増粘剤系高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響 材料,Vol.45,No.9,pp.11-16,1996.9 （論文） 佐野清史、 <u>末岡英二</u> 、中村亮太、宮川豊章、藤井學
12)	石膏を添加した増粘剤系高流動コンクリートの密閉空隙充填への適用 コンクリート工学年次論文報告集,Vol.18,No.1,pp.195-200,1996.6 （論文） <u>末岡英二</u> 、中村亮太、佐野清史、福手勤
13)	緊急仮設栈橋工事における高流動コンクリートのコンクリートプラント船による施工 土木学会高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, pp.203-208,1996.3 （論文） <u>末岡英二</u> 、伊藤恒夫、関憲一、福手勤
14)	増粘剤系高流動コンクリートの各種要因による性状の違いについて コンクリート工学年次論文報告集,Vol.17,No.1,pp.69-74,1995.6 （論文） <u>末岡英二</u> 、輪湖建雄、小島朗史、佐藤正一
15)	FRP 棒材を用いたはりの力学特性に及ぼすかぶりの影響について コンクリート工学年次論文報告集,Vol.16,No.2,pp.1117-1122,1994.6 （論文） <u>末岡英二</u> 、中村亮太、眞嶋光保、新屋敷保
16)	増粘剤を用いた省力化施工コンクリートの過密配筋部材への適用 第 2 回超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集, pp.199-206,1994.5 （論文） <u>末岡英二</u> 、津田義久、守分敦郎、濱崎勝利、福手勤
17)	発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの施工モデル実験 コンクリート工学年次論文報告集,Vol.15,No.1,pp.269-274,1993.6 （論文） <u>末岡英二</u> 、内田雅也、小泉哲也、前田敏
18)	FRP を用いた合成梁の力学性状 コンクリート工学年次論文報告集,Vol.14,No.2,pp.679-684,1992.5 （論文） 鹿籠雅純、清宮理、山田昌郎、 <u>末岡英二</u>
19)	鉄筋腐食ひび割れの生じた RC 梁の樹脂注入補修効果について コンクリート工学年次論文集,13-2,pp.867-872,1991.6 （論文） <u>末岡英二</u> 、佐野清史